

Betriebssystemtechnik

Operating System Engineering (OSE)

“Feature-Oriented Programming”^[1]

(D. Batory)



1

Motivation

- Software wird heute auf einem zu niedrigen Abstraktionsniveau modelliert
 - im Zentrum der Betrachtung sind meist Klassen, Funktionen und Objekte
 - erschwert wird dadurch ...
 - die Konstruktion von Applikationen aus Komponenten und die **automatische Analyse** von Kompositionen
 - automatisches Generieren** von Applikationen (Produktlinienvarianten) aus Spezifikationen höherer Ebene

➔ **Merkmal-basierte Systembeschreibung und -generierung**



© 2007 Olaf Spinczyk

2

Merkmal-basierte Beschreibung

- Anwender beschreiben Programme und deren Varianten mit Hilfe von abstrakten Merkmalen. Warum nicht auch die Entwickler beim Entwurf?
- Individuelle Programme werden in Form von Gleichungen repräsentiert:

```
f // Programm mit Merkmal „f“  
g // Programm mit Merkmal „g“
```

f und g sind
„Konstanten“

```
i(x) // fügt Merkmal „i“ zu „x“ hinzu  
j(x) // fügt Merkmal „j“ zu „x“ hinzu
```

i und j sind
„Funktionen“, sog.
„Refinements“

```
app1 = i(f) // Merkmale i, f  
app2 = j(g) // Merkmale j, g  
app3 = i(j(f)) // Merkmale i, j, f
```

dieses „GenVoca“
Modell beschreibt
eine Produktlinie!

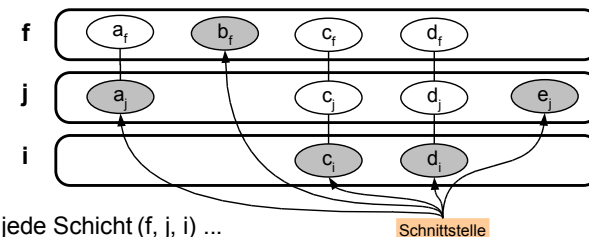


© 2007 Olaf Spinczyk

3

Merkmal-basierter Entwurf

- eine GenVoca-Konstante besteht aus Klassen
- Funktionen bestehen aus Klassen und Klassen-*Refinements*



- jede Schicht (f, j, i) ...
 - realisiert ein bestimmtes Merkmal
 - besteht aus einer „Kollaboration“

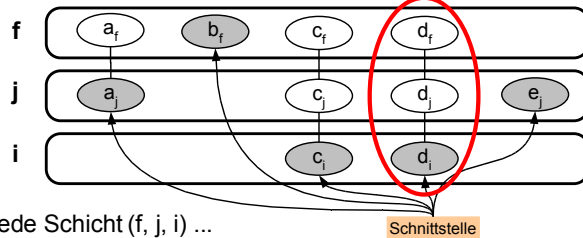


© 2007 Olaf Spinczyk

4

Merkmal-basierter Entwurf

- eine GenVoca-Konstante besteht aus Klassen, die die fertige Klasse wird aus Fragmenten konstruiert
- Funktionen bestehen aus Klassen und Klassen



- jede Schicht (f, j, i) ...
 - realisiert ein bestimmtes Merkmal
 - besteht aus einer „Kollaboration“



Merkmal-basierte Implementierung

- flexible „Refinement Chains“ erfordern, dass ...
 - ein *Refinement* Klassen und verfeinerte Klassen erweitern kann
 - die Benutzerschnittstelle unabhängig von Verfeinerungen ist
- ein erster Lösungsansatz basiert(e) auf der Kombination von Templates und Vererbung
 - leider bringt die Vererbung aber Probleme mit sich
- der neuere Lösungsansatz basiert auf einem neuen Sprachkonstrukt: *Refinements*



Implementierung mit *Mixin-Layers* (1)

- flexibles Erweitern, ohne die konkrete Basis zu kennen, lässt sich in C++ mittels *Mixin*-Klassen erledigen:

```
template <typename Base>
class Mixin : public Base {
    int _attr; // weiteres Attribut
public:
    // weitere Methode
    void func() {
        something_before();
        Base::func(); // Aufruf der Basismethode
        something_after();
    }
};
```

- die einheitliche Schnittstelle lässt sich durch ein typedef erreichen und mit der Konfigurierung kombinieren:

```
typedef Mixin<SomeBase> SomeAPI;
```



Implementierung mit *Mixin-Layers* (2)

- Kollaborationen lassen sich durch *Mixin-Layers* realisieren:

```
template <typename BaseLayer>
class MixinLayer_J : public BaseLayer {
public:
    // hier kommen die Verfeinerungen als „nested classes“
    class A : public BaseLayer::A {
        typedef typename BaseLayer::A Base; // die verfeinerte Basis
        int _attr; // neues Attribut
    public:
        void func() {
            something_before();
            Base::func(); // Aufruf der Basismethode
            something_after();
        }
    };
    class C : public BaseLayer::C { ... };
    class D : public BaseLayer::D { ... };

    // hier kommt eine neue Klasse
    class E { ... };
};
```



Implementierung mit *Mixin-Layers* (3)

- Konfigurierung wieder mittels typedef:

```
typedef MixinLayer_I<Layer_F> App1;
// oder
typedef MixinLayer_J<Layer_G> App2;
// oder
typedef MixinLayer_I<MixinLayer_J<Layer_F> > App3;
```

- Fazit: Ziel (fast) erreicht
 - mit *Templates* und Vererbung lassen sich Merkmal-Implementierungen flexibel stapeln
 - die konfigurierenden typedefs lassen sich leicht aus abstrakten Spezifikationen generieren
- leider hat die Vererbung hier ein paar Nachteile ...



Vererbungsprobleme (1)

- das *Extensibility Problem*:

```
class Buffer { ... };

// Puffervarianten
class FileBuffer : Buffer { ... };
class SocketBuffer : Buffer { ... };
...

// eine Erweiterung durch Vererbung
class SynchBuffer : Buffer {
    Mutex _lock;
public:
    void put (Item i) { Secure s(_lock); Buffer::put(i); }
    Item get () const { Secure s(_lock); return Buffer::get(); }
};
```

- die Erweiterung *SynchBuffer* wirkt sich **nicht** auf abgeleitete Klassen (Varianten) aus
- Ursache: die Erweiterung heißt nicht *Buffer*



Vererbungsprobleme (2)

- das *Constructor Propagation Problem*:

```
class TheBase {
public:
    TheBase (int, double) { ... }
};

template <typename Base>
class Mixin : public Base {
public:
    // obwohl keine eigenen Initialisierungen nötig sind, muss ein
    // Konstruktor angelegt werden, damit TheBase bedient werden kann
    Mixin (int i, double d) : Base(i, d) {}
};
```

- wenn eine Basis einen speziellen Konstruktor hat, entsteht eine starke Schichtenabhängigkeit
- Ursache: Vererbung propagiert keine Konstruktoren



Implementierung mit *Refinements*

- *Refinements* sind eine spezielle Spracherweiterung:
 - implementiert z.B. in Jak[1] und FeatureC++ [2]

```
class Buffer {
public:
    Base (int) { ... } // ein nicht-Standard Konstruktor
    ...
};

// zwei Puffervarianten
class FileBuffer : Buffer { ... };
class SocketBuffer : Buffer { ... };

// eine Erweiterung durch Refinement
refines class Buffer {
    Mutex _lock;
public:
    void put (Item i) { Secure s(_lock); super::put(i); }
    Item get () const { Secure s(_lock); return super::get(); }
};
```

- das *Refinement* wirkt sich auf alle abgeleiteten Klassen aus; der Konstruktor wird automatisch „propagiert“



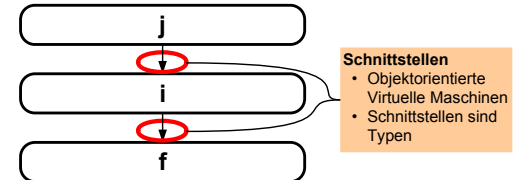
Zwischenfazit

- FOP versucht Merkmale als „*First Class Entities*“ auch bei Entwurf und Implementierung zu behandeln
 - der Merkmalbegriff kommt also in die Welt der Programmierung!
- Programme werden als Gleichungen beschrieben und können leicht aus Gleichungen generiert werden
 - Möglichkeit der Optimierung („*Automatic Programming*“)
- Offene Fragen:
 - Wie können die Schichten gestapelt werden, d.h. sind die Funktionen typisiert? Reicht Typisierung?
 - Wie findet man bei mehreren funktional gleichwertigen Programmen die beste Lösung unter Beachtung nicht-funktionaler Eigenschaften?
 - Wie sieht die Beziehung zwischen GenVoca Modellen und Merkmaldiagrammen aus?



GenVoca Grammatiken (1)

- GenVoca Architekturen sind immer geschichtet:



- $g(x:S):R$ bedeute, dass das Merkmal g ...
 - eine virtuelle Maschine R implementiert
 - eine Schicht x importiert, die eine VM S implementiert
 - einen Parameter x vom Typ S hat und selbst vom Typ R ist



GenVoca Grammatiken (2)

- Schichten (=Merkmale) mit dem selben Typ bilden ein „*Realm*“ (dt. Fachgebiet, Bereich), z.B.:

$$S = \{ y, z, w \}$$

$$R = \{ g(x:S), h(x:S), i(x:R) \}$$
- die erlaubten Konfiguration dieses Systems lassen sich durch eine äquivalente GenVoca Grammatik beschreiben:

$$S ::= y \mid z \mid w ;$$

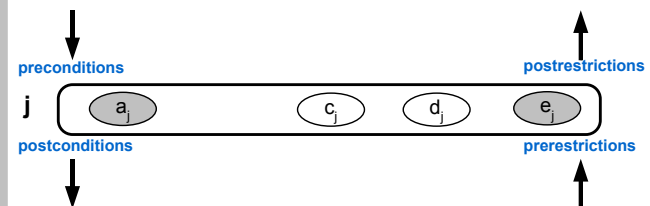
$$R ::= g(S) \mid h(S) \mid i(R) ;$$
- gültig wäre z.B.: $g(y), h(z), i(i(h(w)))$
- ungültig wäre z.B.: $g(h(w)), i(y)$

eine GenVoca Grammatik beschreibt eine Produktlinie!



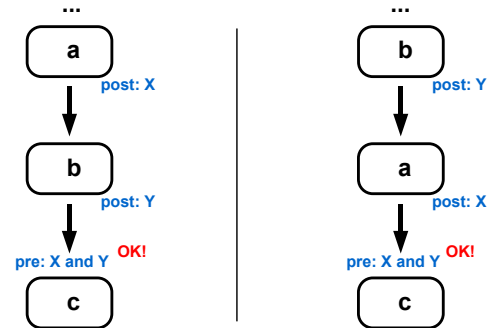
Design Rule Checking (1)

- Grammatiken können nur zur Prüfung der „syntaktischen“ Korrektheit einer Komposition benutzt werden
- Lösung: zusätzliche „*Design Rules*“



Design Rule Checking (2)

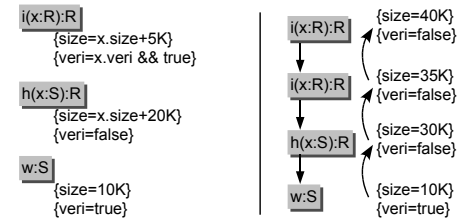
- Wann ist eine Komposition zulässig? Beispiel:



➔ „a“ und „b“ sind vertauschbar

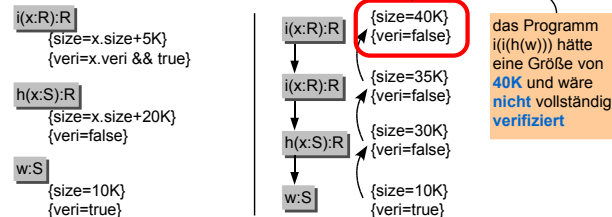
Attributierte GenVoca Modelle

- Welche gültige Konfiguration verbraucht am wenigsten Speicher, ist am schnellsten oder besteht nur aus verifizierten Komponenten?
- Derartige **nicht-funktionale Eigenschaften** können über Attribute erfasst werden, die **automatisch** bei der Auswahl berücksichtigt werden können.



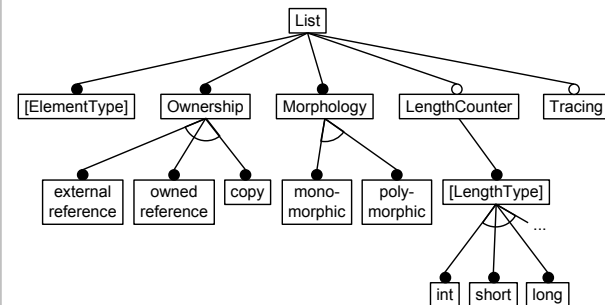
Attributierte GenVoca Modelle

- Welche gültige Konfiguration verbraucht am wenigsten Speicher, ist am schnellsten oder besteht nur aus verifizierten Komponenten?
- Derartige **nicht-funktionale Eigenschaften** können über Attribute erfasst werden, die **automatisch** bei der Auswahl berücksichtigt werden können.



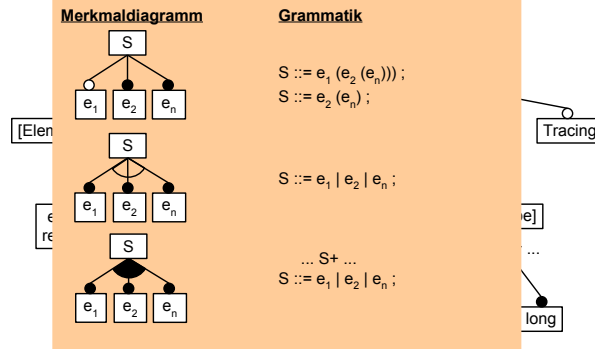
Merkmal-Modelle vs. GenVoca (1)

- lässt sich die Variabilität dieser Produktlinie auch als GenVoca-Grammatik ausdrücken?



Merkmal-Modelle vs. GenVoca (1)

- lässt sich die Variabilität dieser Produktlinie auch als GenVoca darstellen. Es helfen ein paar einfache Abbildungsregeln:



Merkmal-Modelle vs. GenVoca (2)

- Ergebnis der Transformation:

```
List ::= Tracing (LengthCounter (Morphology (Ownership (ElementType))));
List ::= LengthCounter (Morphology (Ownership (ElementType)));
List ::= Tracing (Morphology (Ownership (ElementType)));
List ::= Morphology (Ownership (ElementType));

Ownership ::= External Reference | Owned Reference | Copy;

Morphology ::= Monomorphic | Polymorphic;

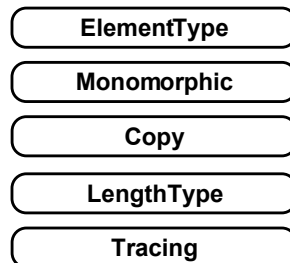
LengthCounter ::= LengthType;
```

- Gültige Sätze der Sprache:
 - Tracing (LengthType (Copy (Monomorphic (ElementType))))
 - Monomorphic (External Reference (ElementType))
- die Grammatik hat im Prinzip die selbe Aussagekraft wie das Merkmaldiagramm
 - nicht-Terminals kommen allerdings in den Sätzen nicht mehr vor
 - Constraints können über Attribute ausgedrückt werden



Merkmal-Modelle vs. GenVoca (3)

- für die erste Variante ergibt sich z.B. folgende Schichtenstruktur:



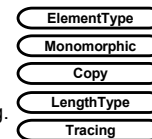
- bringt uns diese Hierarchie einer vernünftigen Implementierung näher?



Merkmal-Modelle vs. GenVoca (4)

- Probleme (auf den ersten Blick):

- Mindestens ElementType und LengthType sollten eher keine Schicht, sondern Template-Parameter sein.
- Wo ist die eigentliche Listenverwaltung?
- Monomorphic und Copy **scheinbar** unabhängig.



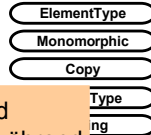
- Gründe:
 - Bei der Transformation vom Merkmalmodell in die Grammatik ist der Kontext der Merkmale verloren gegangen: ElementType ist List/ElementType, Monomorphic ist List/Morphology/Monomorphic. Die Basisebene realisiert also bereits einige Listenfunktionen.
 - Der Name einer Schicht im FOP repräsentiert die **Implementierung** eines Merkmals. Ein Merkmal im Merkmaldiagramm hat mit der Implementierung nichts zu tun! Man muss daher **manuell anpassen**.



Merkmal-Modelle vs. GenVoca (4)

Probleme (auf den ersten Blick):

- Mindestens `ElementType` und `LengthType` sollten eher keine Schicht, sondern Template-Parameter sein.
- Wo ist die eigentliche Listenverwaltung?
- Monomorphie → Merkmale im Sinne von FOP sind Elemente des **Lösungsraums**, während Merkmalsmodelle den **Problemraum** beschreiben!
- Bei der Konstruktion ist der Monomorphismus ist List/Morphology/Monomorphic. Die Basisebene realisiert also bereits einige Listenfunktionen.
- Der Name einer Schicht im FOP repräsentiert die Implementierung eines Merkmals. Ein Merkmal im Merkmaldiagramm hat mit der Implementierung nichts zu tun! Man muss daher **manuell anpassen**.



Beispiel: eine Liste in FeatureC++ (1)

```
template <typename ElementType>
class List {
    // Datenelemente
    ElementType *head_; // Zeiger auf 1 Element
    List *tail_; // weitere Elemente
public:
    // Konstruktor: erzeugt eine neue Liste
    List(SetHeadElementType &h, List *t=0) :
        head_(0), tail_(0) {
        setHead(h);
    }

    // Initialisierung des Elements
    void setHead(SetHeadElementType &h) {
        head_ = &h; // hier wird nichts kopiert
        // oder geprüft!
    }

    // Setter und Getter Funktionen
    ElementType &head() { return *head_; }
    void setTail(List *t) { tail_ = t; }
    List *tail() const { return tail_; }
};
```

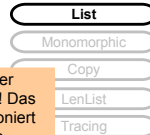


Beispiel: eine Liste in FeatureC++ (1)

```
template <typename ElementType>
class List {
    // Datenelemente
    ElementType *head_; // Zeiger auf 1 Element
    List *tail_; // weitere Elemente
public:
    // Konstruktor: erzeugt eine neue Liste
    List(SetHeadElementType &h, List *t=0) :
        head_(0), tail_(0) {
        setHead(h);
    }

    // Initialisierung des Elements
    void setHead(SetHeadElementType &h) {
        head_ = &h; // hier wird nichts kopiert
        // oder geprüft!
    }

    // Setter und Getter Funktionen
    ElementType &head() { return *head_; }
    void setTail(List *t) { tail_ = t; }
    List *tail() const { return tail_; }
};
```

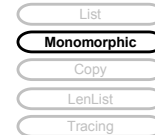


Dieser Typ ist hier noch unbekannt! Das Fragment funktioniert daher nicht ohne Refinement. Sicherzustellen über Design Rule Check.



Beispiel: eine Liste in FeatureC++ (2)

```
// Erweiterungen für „monomorphe“ Listen
template <typename ElementType>
refines class List {
    // hinzugefügte Funktion: so wird ein Element
    // in einer monomorphen Liste kopiert (evtl.)
    static ElementType *copy(const ElementType &e) {
        return new ElementType(e); // Copy-Konstruktor
    }
public:
    // Initialisierung des Elements erweitern
    void setHead(SetHeadElementType &h) {
        // Typüberprüfung mittels RTTI zur Laufzeit
        assert(typeid(e)==typeid(ElementType));
        super::setHead(h);
    }
};
```



- die Monomorphic Schicht trägt (wie Polymorphic auch) eine passende Kopierfunktion durch ein **Refinement** bei und erweitert `setHead` um eine Typprüfung.

Beispiel: eine Liste in *FeatureC++* (3)

```
// Erweiterungen für kopierende Listen
template <typename ElementType>
refines class List {
public:
    // hinzugefügter Typ
    typedef const ElementType SetHeadElementType;

    // Initialisierung des Elements erweitern
    void setHead(SetHeadElementType &h) {
        if (head_) delete head_;
        // Kopieren mittels copy Funktion
        super::setHead(copy(h));
    }
    ~List () {
        // Speicherfreigabe im Destruktor
        delete head_;
    }
};
```

List
Monomorphic
Copy
LenList
Tracing

- die Copy Schicht erweitert setHead um das Kopieren und fügt einen Destruktor hinzu. Außerdem wird hier der Typ SetHeadElementType endlich definiert.



Beispiel: eine Liste in *FeatureC++* (4)

```
// Erweiterungen zum Zählen der Elemente
template <typename ElementType,
        typename LengthType>
class LenList : public List<ElementType> {
    LengthType length_; // Anzahl der Elemente
public:
    typedef List<ElementType> ListType;
    LenList(SetHeadElementType &h, ListType *t=0) :
        ListType(h,t), length_(computedLength()) {}

    void setTail(List *t) {
        ListType::setTail(t);
        length_ = computedLength();
    }

    const LengthType &length() const { return length_; }

    LengthType computedLength() const {
        return tail()? tail()->length()+1 : 1;
    }
};
```

List
Monomorphic
Copy
LenList
Tracing

- diese Schicht nutzt Vererbung, um die Länge als weiteren *Template*-Parameter einzubringen.



Beispiel: eine Liste in *FeatureC++* (5)

```
// Erweiterungen zum Verfolgen des Kontrollflusses
template <typename ElementType>
refines class List {
public:
    // Methoden: Wrapper zur Ausgabe des Funktionsnamens
    void setHead(SetHeadElementType &h) {
        cout << "setHead(" << h << ")" << endl;
        super::setHead(h);
    }
    ElementType &head() {
        cout << "head()" << endl;
        return super::head();
    }
    void setTail(ReturnType *t) {
        cout << "setTail(t)" << endl;
        super::setTail(t);
    }
};
```

List
Monomorphic
Copy
LenList
Tracing

- das *Refinement* wirkt sich sowohl auf List als auch auf die abgeleitete LenList aus.
- leider aber nicht auf die LenList Methoden



Beispiel: eine Liste in *FeatureC++* (5)

```
// Erweiterungen zum Verfolgen des Kontrollflusses
template <typename ElementType,
        typename LengthType>
refines class LenList {
public:
    const LengthType &length() const {
        cout << "length()" << endl;
        return super::length();
    }

    LengthType computedLength() const {
        cout << "computedLength()" << endl;
        return super::computedLength();
    }
};
```

List
Monomorphic
Copy
LenList
Tracing

- das *Refinement* wirkt sich sowohl auf List als auch auf die abgeleitete LenList aus.
- leider aber nicht auf die LenList Methoden



Beispiel: eine Liste in FeatureC++ (6)

- um den Aufwand zu verringern, integriert FeatureC++ *Feature-Oriented Programming* und AOP mit AspectC++ ;-)

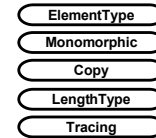
```
// Erweiterungen zum Verfolgen des Kontrollflusses
aspect ListTracing {
  advice execution(derived("List")) : before () {
    cout << JoinPoint::signature() << endl;
  }
};
```

- dabei werden Pointcuts beispielsweise automatisch so angepasst, dass sie sich nur auf Elemente in Basisebenen auswirken.
- die Kombination von AOP und FOP bietet noch viele spannende Forschungsthemen!



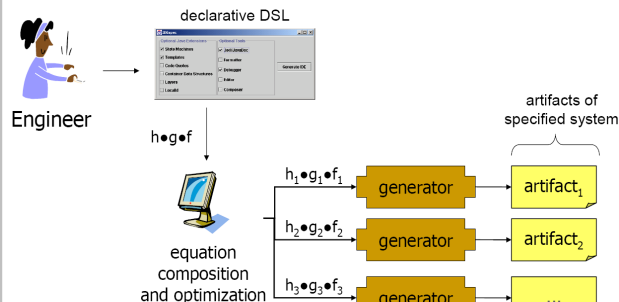
Beispiel: Fazit

- Vergleich zur generischen Implementierung aus „Synthesizing Objects“:
 - deutlich weniger Klassen
 - keine Template Metaprogramme
- Es gibt allerdings auch Nachteile:
 - weniger Konfigurierbarkeit durch den Anwendungscode
 - zusätzliche Spracherweiterung und Werkzeuge nötig
- Generell ist FOP eher für Konfigurierung im Großen gedacht, wo Generizität nicht erforderlich ist.
- FeatureC++ unterstützt Aspekte als eine interessante Ergänzung



FOP Ausblick

- mit der AHEAD Tool Suite (ATS) wird die Vision verfolgt, FOP auf beliebige Artefakte (Klassen, Makefiles, Manuals, ...) anzuwenden [3].



Zusammenfassung

- FOP versucht, eine Verbindung herzustellen zwischen ...
 - Merkmale bzw. Merkmaldiagrammen und
 - geschichteten Softwarearchitekturen und
 - Entwurf und Implementierung
- Ziel: automatische Analyse, Optimierung und Generierung
- FOP eignet sich speziell für grobgranulare Konfigurierung
 - generische Programme, die viele Varianten gleichzeitig bereitstellen stehen nicht im Zentrum der Betrachtung
 - es geht um Produktlinien von denen z.B. ein Softwarehersteller einzelne statisch konfigurierte Varianten ausliefern will



Literatur

- [1] D. Batory, *Homepage of the Product-Line Architecture Research Group*.
<http://www.cs.utexas.edu/users/schwartz>
- [2] S. Apel, *Feature C++ Homepage*.
http://www.witi.cs.uni-magdeburg.de/iti_db/fcc/
- [3] D. Batory, J.N. Sarvela, A. Rauschmeyer, *Scaling Step-Wise Refinement*. International Conference on Software Engineering (ICSE 2003), May 2003.

